

LA NATURALEZA DEL TIEMPO Y SU COMPLEJIDAD: EL CASO DEL TIEMPO GEOLÓGICO - IMPLICACIONES EDUCATIVAS

THE NATURE OF TIME AND ITS COMPLEXITY: DEEP TIME AND EDUCATIONAL IMPLICATIONS

JORGE BONITO

Dr., Docente universitario, Universidad de Évora, Portugal, jbonito@uevora.pt,

JORGE MEDINA

Dr., Docente universitario, Universidad de Aveiro, Portugal, jmedina@ua.pt, Doutor

MARGARIDA MORGADO

Dr., Docente, Escola Secundária de Viriato de Viseu, Portugal, morgadommargarida@gmail.com, Doutor

DORINDA REBELO

Maestre. Docente, Escola Secundária de Estarreja, Portugal, dorinda.rebelo@netvisao.pt, Mestre

GRAÇA MONTEIRO

Dr., Docente, Escola Secundária de Alcaldes de Faria, Portugal, gracamonteiro88@hotmail.com, Doutor

LUÍSA MARTINS

Mestre, Docente, Escola Secundária de Alves Martins de Viseu, Portugal, luisalopesmartins@gmail.com,

LUÍS MARQUES

Dr., Investigador, Universidad de Aveiro, Portugal, Asociado con la Agregación, luis@ua.pt, Doutor

Recibido para revisar Marzo 9 de 2011, aceptado Agosto 4 de 2011, versión final Septiembre 6 de 2011

RESUMEN: En este artículo pretendemos hacer una reflexión sobre el complejo concepto de tiempo, en sus vertientes filosófica y científica, de esta manera reconocemos la consecuente necesidad de profundizar en la investigación en el ámbito de la enseñanza y del aprendizaje de esta temática. Partiendo de cuatro ángulos de análisis: el primero mediante un abordaje de las sucesivas posiciones filosóficas y científicas sobre la naturaleza del tiempo; prosiguiendo con una reflexión sobre las percepciones actuales del tiempo; en un tercer ángulo de visión, se elaboran un conjunto de consideraciones sobre la cuantificación del tiempo dando una particular atención al tiempo físico, humano y geológico; y finalmente los autores reflexionan sobre un conjunto de implicaciones educacionales para el abordaje didáctico del tema, en el contexto de un proyecto de investigación en curso.

PALABRAS CLAVE: Tiempo geológico, complejidad, percepciones, enseñanza de la geología

ABSTRACT: This article aims to reflect on the complex concept of time - its philosophical and scientific dimensions, and, therefore, to recognize the need of further research about the respective teaching and learning process. Four dimensions will be carried out: in depth approach of several scientific and philosophical views on the nature of time; reflection on current perceptions of time; development of a set of considerations, concerning the quantification of time, mainly the physical, human and geological time; authors' reflection on a set of educational implications of the topic in the context of an ongoing research project.

KEYWORDS: Deep time, complexity, perceptions, geology teaching

Verdade, também isso se perde porque a memória, aprendi por mim, é indispensável para que o tempo não só possa ser medido como sentido. [1]

1. INTRODUCCIÓN

Este estudio basado en el ámbito de un proyecto de investigación educacional en curso en el Centro de Investigación Didáctica y Tecnología en La Formación

de Formadores de La Universidad de Aveiro (Portugal), involucra a profesores, investigadores en Didáctica de las Ciencias y especialistas en Geología. Se pretende profundizar en la comprensión de las dificultades captadas en alumnos portugueses, de enseñanza básica, en relación a este concepto y actuando en consonancia, concebir, desarrollar y evaluar, con la colaboración de profesores e investigadores, estrategias curriculares que contribuyan a una mejoría de la alfabetización científica de los discentes.

La finalidad principal de este artículo consiste en presentar una reflexión sobre el complejo concepto de tiempo, en sus vertientes filosófica y científica reconociendo de esta manera, la consecuente necesidad de proceder a una profundización de la investigación en el ámbito de la enseñanza y del aprendizaje de esta temática. Partimos de la idea de que la inclusión de este concepto en el currículo de Ciencias, debe de subrayar:

1. La conveniencia de que los profesores, responsables de la gestión del currículo y de la orientación del proceso de enseñanza, posean un marco conceptual bien fundamentado;
2. Las limitaciones planteadas en el abordaje curricular, teniendo en cuenta la propia naturaleza y las dificultades intrínseca que conlleva.

De la bibliografía sobre formación de profesores, subrayamos por un lado, que un buen profesor de ciencias *“should acquire a sound knowledge of scientific concepts and theories... beyond this, however, lie knowledge of teaching methods...”* (p. 9) [2] y por otro, que para conceptos especialmente complejos es necesario encontrar estrategias de promuevan el compromiso de los alumnos.

El artículo está constituido por cuatro partes. En la primera abordaremos las sucesivas posiciones filosóficas y científicas sobre la naturaleza del tiempo. La segunda se inclina hacia un análisis de percepciones actuales del tiempo, a partir de estudios que han sido efectuados. Se siguen consideraciones sobre la cuantificación del tiempo, dando una especial atención al tiempo físico, humano y geológico. Finalmente, los autores reflexionan sobre un conjunto de implicaciones educacionales para el abordaje de este tema.

2. EL TIEMPO Y SU COMPLEJIDAD

La complejidad, entendida como un desafío, se sustenta como característica de lo que *“é... tecido junto, isto é, complexo, segundo o sentido original do termo”* (p. 14) [3] y para convivir con ella de una manera saludable, son necesarios principios organizados de conocimiento. Esta alusión al pensamiento complejo, trabajada por Edgar Morin, tiene sentido cuando una reflexión sobre el tiempo nos confronta con una situación algo paradójica.

El tiempo para cada uno de nosotros es una evidencia familiar y la experiencia común parece ser suficiente para que nunca dudemos de su existencia. Por un lado el sentido común nos recuerda que pocas cosas podrían ser tan obvias como el tiempo, porque hasta le podríamos cuantificar o bien, a través de él, efectuar previsiones del cotidiano, así como organizarlo cronológicamente, en ayer, hoy y mañana. Curiosamente, podremos preguntarnos, si la cuantificación del tiempo no corresponde a su propia disimulación, por detrás de una movilidad absolutamente regular. Conocida es la posición de San Agustín, en el siglo IV: *“O que é o tempo? Saberei dizer; mas, se quiser explicá-lo a quem mo pedir, é manifesto que não sei”* [4].

Es un hecho que el tiempo existe fuera del reloj *“mais precisamente, não há muito mais tempo dentro de um relógio do que fora dele... ele não se entrega nunca como um fenómeno em bruto. Na verdade, não percebemos senão os seus efeitos, as suas obras, os seus adornos, as suas metamorfoses, que podem enganar-nos a respeito da sua natureza”* (p. 15) [5].

De aquí provienen las percepciones que vamos elaborando sobre el tiempo, conforme abordaremos en la sección siguiente.

Un breve viaje en la historia nos revela que la reflexión sobre el tiempo aparecía ya entre los filósofos presocráticos. El texto filosófico de Anaximandro (609/610 – 546 a.C.) relaciona la pregunta por la totalidad de lo existente con el tiempo, que es el que impone el orden y que nos transporta a nuestros orígenes. De esta manera la pregunta por el sentido del mundo remite al tiempo – lo que nos coloca en el inicio del pensamiento filosófico.

En la filosofía de Platón (428/427 – 347 a.C.), el tiempo – la imagen inmóvil de la eternidad – se representa a través de un movimiento cíclico, siendo subyacente la periodicidad de las mareas, los solsticios o bien las estaciones del año, midiéndose por el movimiento de los astros.

Aristóteles (384 – 322 a.C.) relaciona esta eternidad platónica con el suceder del tiempo – el tiempo es un número del movimiento de acuerdo con el antes y el después [5] – susceptible de percibir lo que da lugar a concebir el movimiento, de modo que el tiempo se expresa a través de éste como pasaremos a discutir en la siguiente sección. El tiempo no es un movimiento, pero no existiría sin él. Es sin embargo remarcable que Aristóteles reconozca la dificultad de la naturaleza del tiempo interrogándose, por ejemplo sobre si éste debería colocarse entre los seres o entre los no-seres. Relaciona, entonces el instante con el tiempo y articula el punto con la naturaleza del espacio. Ambos conceptos integran en sí la noción de límite que anula las especificidades propias del tiempo y del espacio – un instante no dura, así como un punto no tiene extensión. Esta analogía establecida entre instante y punto así como, de la perspectiva de tiempo en función del movimiento, nos revela la íntima relación entre el espacio y el tiempo [6]. Por otra parte, uno y otro – instante punto – son a la vez unión y separación, y al igual que la estructura del espacio, también la estructura del tiempo es continua. En síntesis diremos que la cuestión del tiempo nos remite a las paradojas de lo uno y lo múltiple, de la identidad y la diferencia.

A estas posiciones, en las que subyace una visión circular del tiempo, se le opone la perspectiva lineal, próxima a la cultura cristiana, y posteriormente surge la revolución científica con una concepción de tiempo substancialmente distinta [7]. Así, con Galileo Galilei (1564 – 1642) nace un tiempo abstracto, concebido como un parámetro o una variable física que vale para todo movimiento, y no sólo para el uniforme como lo había considerado Aristóteles. Es de esta forma que tiempo, espacio y materia serán los tres grandes conceptos de la física moderna clásica, es decir, del mecanicismo.

Con Newton (1643 – 1727), el tiempo pierde su carácter transcendente fluyendo sin relación con nada externo, permaneciendo siempre semejante e inmóvil. Tiempo

y espacio, por tanto, no son un puro accidente de los cuerpos sino independientes de ellos, que están y se mueven en su seno. El carácter absoluto del tiempo en Newton es dominante en la filosofía moderna, incluso Kant (1724 – 1804) quien, a pesar de todo introduce una nueva reflexión en el modo de considerar la cuestión – la completa independencia del tiempo relativamente a las cosas que en él ocurren - de cierta forma *a priori*.

Con Einstein (1879 – 1955), el tiempo está afectado por la materia y energía, pudiendo ser como manipulado. Según la lograda expresión de Klein [5] “*o tempo físico perdeu um pouco da sua suposta pureza e muita da sua independência: reencontrou-se inseparavelmente ligado ao espaço, associado à energia, ancorado na matéria*” (p. 9). Sabemos que en campos gravitacionales fuertes y para observadores en movimiento, el flujo del tiempo está condicionado por la masa y por la energía que ésta contiene y por éso, “*every reference-body has its own particular time; unless we are told the reference-body to which the statement of time refers, there is no meaning in a statement of the time of an event*” (p. 22) (Einstein, 1905, citado [8]).

Considerando el tiempo como una grandeza física y observando lo desde una perspectiva de física clásica, se presenta como una dimensión por sí mismo reversible, pudiendo afirmar que desde este punto de vista, el tiempo no pasa de una ilusión. En la ciencia contemporánea los conceptos de espacio y de tiempo han sido condicionados por la teoría de la relatividad generalizada, y la interrelación entre ambos, determina las características de la materia y del movimiento. Simultáneamente, la esta teoría perspectiva la dilatación y la contracción del tiempo, de modo que éste depende de la velocidad de la luz y de la propia masa. La no existencia de un tiempo universal revitaliza la concepción relacional del tiempo [9].

La reversibilidad del tiempo deducida de las ecuaciones de la física, es inherente a la síntesis de las sucesivas posiciones presentadas. A partir del segundo principio de la termodinámica que Henri Bergson (1859 – 1941) cualificó la más metafísica de las leyes físicas – y que proporciona una clara orientación para el tiempo, Ilya Prigogine (1917 – 2003) comienza a redescubrir el tiempo. Presuponer esta posición pasaría por el reconocimiento de que la significación del tiempo en el mundo científico está lejos de si alcanzar [10].

Prigogine, viene reforzando el carácter irreversible del tiempo, de forma que dicha irreversibilidad no depende tan solo de la ínfima probabilidad de que un proceso que genera mayor entropía pueda darse a la inversa, sino que el carácter direccional del tiempo y su irreversibilidad son inherentes.

Las consideraciones efectuadas permiten, del punto de vista de los autores, volver hacia la problemática inicial. Qué es finalmente el tiempo? Será el tiempo una ilusión o el resultado de una percepción? Y el tiempo tendrá futuro? Así como, cuál es la edad del tiempo? Reconocimiento de que en efecto, nos confrontamos a una temática cuya naturaleza es extremadamente compleja, y naturalmente tiene que tener influencias al pensar en los correspondientes abordajes de enseñanza y de aprendizaje curriculares. Por lo que tiene sentido, proceder a un abordaje de las percepciones elaboradas sobre el tiempo.

3. EL TIEMPO Y SUS PERCEPCIONES

En el seguimiento señalado con relación a la dificultad de abordar la problemática del tiempo, valdría la pena considerar la percepción de éste – resultado de un largo proceso de aprendizaje, realizado de una manera reflexiva a partir del final de La Edad Moderna – es una construcción mental de atribución de significado a estímulos sensoriales tales como el movimiento de objetos y de personas, señales naturales y la repetición de fenómenos cíclicos [11]. La percepción del tiempo está influenciada por varios factores, incluyendo los de naturaleza afectiva [12], a modo de ejemplo, la impulsividad [13] y diversas patologías, como la depresión y la tristeza [14, 15]. Percibir el instante (en la interpretación de Aristóteles, permitiendo dar continuidad al propio tiempo y relacionándolo con el concepto de espacio) es anterior a su situación en palabras más ya de por sí es un acto [16]. La percepción y la acción se constituyen mutuamente, no pudiendo existir de una manera independiente [17]. La percepción resultante de un estímulo es siempre algo construido en correlación a una respuesta del organismo [18].

La percepción de un instante y de una sucesión de instantes conduce a la constatación de la persistencia. El tiempo es, de esta forma, percibido como asimétrico y transitivo, recordando [19] que sin memoria no habría tiempo. En el ensayo de Norbert Elias [20], publicado

en fragmentos a partir de 1974, se propone romper con la tradición de confundir la operación gnoseológica de la separación entre el objeto y el sujeto con la existencia de una distancia, de hecho, entre ambos. Digamos que en verdad el autor – en perfecta sintonía con epistemologías actuales de naturalezas racionalistas, con implicaciones en la enseñanza de las ciencias – considera que los resultados alcanzados por los físicos en la medición del tiempo fallan, cuando descuidan la dimensión esencial para su percepción: la dimensión humana y social.

La referida dimensión esencial incluye también la autorregulación del tiempo que sirve para orientar el ser humano en el mundo, de acuerdo con autores como Mangas y Montero [21]. La percepción del tiempo se encuentra materializada en la facultad humana de “*vincular entre si duas ou mais sequências distintas, de transformação contínua*” (p. 303) [22]. Con este fin, el hombre fue creando una síntesis simbólica resultante de la yuxtaposición de dos continuos: uno social y otro mecánico. El primero en hechos por venir y el segundo estandarizado. El *continuum* mecánico fue usado muchas veces para medir el *continuum* social, aquél que en el momento tiene expresión y produce vivencia. La complejidad gradual de las sociedades condujo a que dominase, el *continuum* mecánico sobre el *continuum* social, asistiendo modernamente a una dependencia total del reloj.

La cuestión de la transmisión social de los bienes culturales entre generaciones, así como el caso del aprendizaje del tiempo, es revelador de la exigencia de una síntesis simbólica, conteniendo un elevado nivel de complejidad relacionada con las sociedades [20]. De ahí que, para el autor, la sinopsis elaborada por los historiadores sobre los hechos en el tiempo, corresponda más a una “*descripción narrativa de una manera imaginativa, pero muy poco cierta*” (p. 204) [20], considerando, según Durkheim que a los sociólogos se les concede un cuadro conceptual que les facilita la construcción de esta síntesis.

De hecho, el tiempo barre con todo. Todo se encuentra sometido al tiempo y “todo lo que toca al tiempo acaba por tener un fin”. San Agustín, en su *Ciudad de Dios*, ve el tiempo como algo que todo corrompe y destruye. En consecuencia del *continuum* de los instantes, el tiempo se define como lineal e irreversible. Esta irreversibilidad

se aplica sólo a las formas y a los sistemas, pero no a la materia elemental, lo cual se puede percibir de dos maneras: dentro de una perspectiva de mera ilusión, posición ésta defendida por Einstein y ya subrayada en la sección anterior; en una perspectiva de la llamada flecha del tiempo, aunque las partículas nos resulten más o menos insensibles, como propone Prigogine [23]. Nos encontramos seguramente, dentro del ámbito epistemológico, con una discusión muy compleja de la ciencia.

De esta complejidad proviene, de igual modo, el que el cerebro humano apenas se encuentre preparado para abarcar una cierta dimensión o “medida” de tiempo, en consecuencia de la duración media de vida humana. Podemos conocer a nuestros bisabuelos o como mucho a nuestros biznietos. De modo que nuestra mirada nunca alcanzará más de doscientos años de vida, observables y reales. La noción de mirar el tiempo pasado, de forma sistemática por sentido común, es relativamente reciente, en especial a partir del siglo XVI. Dado que no existe memoria oral que vaya mucho más lejos en el pasado, así como la afirmación de la investigación histórica la cual permitirá la reconstrucción del tiempo histórico, haciéndonos retroceder 300, 500, 2000, 5000 o 10.000 años. No obstante perdiéndonos un poco por falta de referencias palpables. En verdad a lo largo de nuestra vida la medición del tiempo por sí solo no tiene gran significado. Es el *continuum* social que le objetiva y significa. Señalamos el tiempo con marcos referenciales en virtud de las vivencias. Se suceden días y días sin que les atribuyamos ningún significado memorístico. Sólo los acontecimientos permanecen en nuestra memoria. Estamos finalmente enfocando el punto de vista einsteiniano al remarcar que un determinado instante solo tiene significado cuando está relacionado con una entidad de referencia. Quedándose los números por sí solos desprovistos de significado. O bien dicho de otra forma, lo que fluye en el tiempo no es el propio tiempo. Para Kleine [5], se trata de fenómenos que, a la medida que discurren, “*vestem o tempo com os seus próprios atributos: a mudança, o devir, o movimento, a repetição, a sucessão, a morte*” (p. 11).

El ser humano en su cotidiano, inventó calendarios. Fueron creados calendarios solares con el objetivo de conocer los periodos favorables para la siembra, y calendarios lunares para las mareas, útiles para los pescadores [24]. La articulación entre los actuales

calendarios y los ciclos astronómicos no resulta de fácil traducción matemática. Las regularidades de la naturaleza funcionan de forma diferente de las regularidades de los calendarios, éstos acumulan errores hasta el punto que resulta indispensable corregirlos.

El tiempo se percibe según la naturaleza de los instantes que sentimos. Cuando tenemos una cita con alguien, por ejemplo, nos parece que cada minuto observado en el reloj tiene mayor duración, al contrario que si cogemos un transporte público o nos encontramos inmersos en un atasco. Estas situaciones nos remiten el “dominio” del tiempo por el Hombre. La verdad es que escuchamos con mucha frecuencia a casi toda la gente por no tener tiempo: tiempo para descansar, tiempo para estar con los hijos, tiempo para acabar los trabajos comenzados, tiempo para visitar a los amigos. Falta mucho tiempo [25]. La educación tiene en este dominio una acción decisiva.

Dedicar tiempo a uno mismo y organizar la vida de manera a liberarse de la tiranía del tiempo son estrategias que nos ayudan a vivir con mayor tranquilidad y satisfacción. Carrière [26] piensa que el sueño es nuestra verdadera victoria sobre el tiempo. Fernando Pessoa [27] escribió, tal vez por esta razón “*valor das coisas não está no tempo que elas duram, mas na intensidade com que acontecem*” (p. 49). Espinosa decía que, a cada instante, aquí y ahora somos inmortales. Lo somos a causa del olvido – una selección mental que hacemos de aquello que no nos agrada – absolutamente esencial para enfrentarnos cada día. Nuestra vida está hecha de momentos pasados, citando al ensayista madrileño José Bergamín [28] ella es “*uma experiência perplexa e extasiada do tempo*”. Y cuando algo nos fascina, queremos que el tiempo pare, y decimos que “el tiempo paró”.

Parece que tenemos una garantía: el tiempo continuará, el mismo que ha visto muchos otros tiempos aparecer y desaparecer. Pensando con Prigogine [23], el nacimiento y la muerte de nuestro tiempo, no es por consiguiente el nacimiento y la muerte del tiempo. El tiempo precede a la existencia.

Todo lo aquí dicho se agudiza cuando nos referimos al tiempo geológico, sin que por eso las escalas geológicas sean arbitrarias.

4. EL TIEMPO EN EL CONTEXTO GEOLÓGICO

La historia de La Tierra, a lo largo de la historia humana, constituye una preocupación constante ocupando el pensamiento religioso y científico. Han sido varias las teorías para explicar el origen, evolución y edad de La Tierra. Desde su formación, el planeta que habitamos ha sido extremadamente dinámico, comprobado por diversas transformaciones geológicas. Para “leer” y estudiar el pasado geológico se aplican dos principios: el uniformismo, que establece que los procesos geológicos actuales son los mismos que en el pasado; y el actualismo, que reconoce que no hubo uniformidad, teniendo en cuenta que los fenómenos geológicos han ocurrido de igual forma que en el presente, facultando la reconstitución del pasado y la previsión del futuro.

Para ordenar y comparar eventos geológicos pasados ha sido concebida una escala del tiempo geológico, lo más estándar posible, para ser usada en todo el mundo. También aquí ha habido la preocupación en potenciar el *continuum* mecánico, como tentativa para comprender el tiempo a través de distintos registros de eventos.

Ya que se trata de relaciones temporales pueden ser adoptadas dos enfoques. Es posible determinar una sucesión temporal de eventos sin que se sepa exactamente cuando han ocurrido estableciéndose de esta forma una datación relativa (“*más antiguo que...*”; “*más moderno que...*”). Otra opción es posicionar esos eventos en una escala numérica, su ocurrencia y su duración, a través de una edad absoluta.

El establecimiento de la escala del tiempo se basa en los siguientes principios:

- Principio de la horizontalidad original: en general los estratos se depositan en la horizontal.
- Principio de la superposición: en una secuencia de estratos no deformados, el que cubre otro estrato es más reciente que lo que está por debajo.
- Principio de la intersección: una falla o un cuerpo intrusivo son más recientes que las rocas atravesadas o fracturadas por ellos.
- Principio de la sucesión faunística: los organismos

fósiles se han sucedido unos a otros en un orden definida y determinada; los especímenes una vez extintos no pueden volver a repetir-se.

- Principio de la inclusión: una roca que contiene una inclusión (por ejemplo, un clasto o un fósil) es más moderno que esa inclusión.
- Principio de la identidad paleontológica: los estratos caracterizados por las mismas asociaciones de fósiles son de la misma edad.

El registro fósil ha revelado que las formas de vida han cambiado a lo largo del tiempo e el estudio de su evolución biológica ha presentado una sucesión ordenada de organismos que permite hacer la reconstitución de una historia de la vida en La Tierra directamente ligada a la evolución del tiempo geológico. Se ha establecido una escala del tiempo basada en la ocurrencia y evolución de sucesivas faunas y floras fósiles, un conjunto de marcos que sirven para definir y limitar unidades que han sido establecidas con base en el surgimiento y extinción de determinadas formas de vida, su sucesión y diversificación. Basado en su contenido fósil es posible colocar las rocas en un orden cronológico, ya que:

- cada tiempo (Eón, Era, Período, etc.) geológico posee un conjunto de fósiles que es representativo de los organismos vivos que en ese momento han vivido.
- una misma sucesión biótica registrada en las rocas puede ser observada en distintos lugares de La Tierra, permitiendo su correlación fosilífera o bioestratigráfica y en estos casos es posible establecer una equivalencia temporal.

Con base en los principios arriba enunciados, ha sido posible establecer una escala de tiempo geológico, dividida en Eones, derivado del latín *aeon*, y del griego *αιών* (*aión*), que significa “un periodo de existencia”. Se designa Hadeico, como referencia al dios griego de los infiernos Hades, al intermedio de tiempo entre la formación de La Tierra y de otros astros del sistema solar. En rigor el Hadeico no es un Eón geológico porque no existen rocas tan antiguas para ser adecuadamente caracterizado. Actualmente es reconocido como “marcador cero” de la escala del tiempo geológico,

y en la Tabla Cronoestratigráfica Internacional de *International Commission on Stratigraphy* se designa “*Hadean (informal)*” [29].

Con el surgimiento de las primeras células procariotas, se da el origen de la vida primitiva, que asigna un cambio muy importante en la historia de La Tierra que es designada Eón Arcaico. Con la evolución biológica se han desarrollado las células eucariotas, que se han transformado cada vez más complejas surgiendo, más tarde, los primeros seres unicelulares. Este “período” de la historia de La Tierra ha quedado asignado por el Eón Proterozoico, que deriva del latín y significa “primera vida”. Al Arcaico y al Proterozoico juntos se designa Precámbrico. La proliferación de la vida, el desarrollo de los animales y de las plantas pluricelulares asignan un nuevo Eón designado Fanerozoico. Su nombre deriva del griego y significa “vida visible”.

El grado de conocimiento que tenemos sobre el Fanerozoico permite la división de este Eón en Eras. En el inicio de La Era Paleozoica, se ha asistido a una gran diversidad evolutiva de la vida animal, que es asignada por el Período Cámbrico. Alrededor de 90% de todas las especies animales marinas se han extinguido marcando el final de esta Era. Después de esta extinción, La Tierra ha presenciado el apareamiento y el dominio de grupos como los dinosaurios, las amonitas y las plantas con flor, que marcan La Era Mesozoica. El nombre procede del griego *meso/μεσο* que significa “entre” y *zoon/ζωον* que significa “animal”. Esta Era es también conocida como Edad de los Reptiles, de las Amonitas y de los Cicadófitos. La extinción de los dinosaurios marca el final de La Era Mesozoica. Después de esta extinción los tiempos geológicos son señaladas con La Era Cenozoica, marcada con la gran evolución de los mamíferos, tomando la superficie de La Tierra el actual aspecto. Su nombre procede del idioma griego y significa “animales nuevos” (de *καινός/kainos*, “nuevo” y *ζωή/zoe*, “animal o vida”).

Debido al grado de conocimiento de este Eón, las Eras del Fanerozoico son divididas en Períodos, Épocas y Edades, mientras que en el Precámbrico los Períodos del Proterozoico no están subdivididos en Épocas, bien como las Eras del Arcaico no lo son en Períodos.

El conocimiento geológico es mayor y más completo cuanto más reciente son los eventos geológicos

permitiendo comparaciones con los más antiguos. Se comparamos el grado de conocimiento, que hay actualmente, de cada Era con la duración con que cada una es representada en la escala del tiempo geológico (por ejemplo la editada por IUGS, 2008), verificamos que 83 por ciento del conocimiento pertenece al Eón Fanerozoico. Sin embargo le corresponde solo unos 12 por ciento de la historia de La Tierra (los últimos 540 Ma). Además, el Precámbrico, que representa cerca de 88 por ciento del tiempo geológico (alrededor de 4.000 Ma) corresponde solo a 17 por ciento del grafico (Figura 1). Además se observa que el grado de conocimiento está directamente relacionado con la existencia de rocas sedimentarias a lo largo del registro geológico (Figura 1a).

En la figura 1 se puede ver la distribución de las rocas sedimentarias actualmente existentes en el registro geológico. La curva de la media de las rocas sedimentarias preservadas a lo largo del tiempo geológico sugiere que el registro sedimentar disminuye casi geoméricamente con el aumento de las edades. No es que haya habido menos sedimentación en el pasado; lo que ocurre es que cuanto más antigua ha sido la roca sedimentaria mayor es la probabilidad de haber sido erosionada, deformada y/o metamorfizada. Si la deformación y/o el metamorfismo son un nuevo evento que queda registrado en las nuevas rocas, la verdad es que este nuevo evento borra total o parcialmente los registros anteriores.

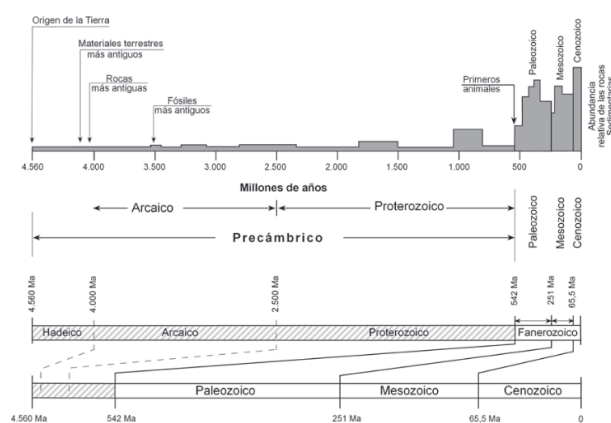


Figura 1. a – encima) Distribución de las rocas sedimentarias en el registro geológico (modificado de [30]). B – bajo) Representación grafica y relación entre la extensión de los períodos del tiempo geológico y el grado de conocimiento existente sobre ellos.

Más ¿Cuál es la edad de La Tierra? El cálculo de la edad absoluta, como la conocemos, ha sido posible con el descubrimiento de la radioactividad. La edad radiométrica nos permite asignar un número para la edad de las rocas, en millones de años (Ma). Este método se basa en la desintegración de isótopos radioactivos naturales como, por ejemplo, potasio-argón, rubidio-estroncio, uranio-plomo, samario-neodimio, entre otros (Tabla 1). Solamente las rocas que contienen minerales con elementos radioactivos permite la aplicación de esta metodología.

Tabla 1. Propiedades de algunos isótopos radioactivos aplicados con frecuencia en la determinación absoluta de rocas.

<http://www.geovirtual.cl/geologiageneral/ggcap10b.htm#Dataciones%20radiometricas>

Isótopo radioactivo	Período de semidesintegración en años (mediavida)	Producto de desintegración radioactiva = isótopo radiógeno
⁸⁷ Rb	48,6 x 10 ⁹	⁸⁷ Sr
²³² Th	14,0 x 10 ⁹	²⁰⁸ Pb
⁴⁰ K	1,3 x 10 ⁹	⁴⁰ Ar
²³⁸ U	4,5 x 10 ⁹	²⁰⁶ Pb
²³⁵ U	0,7 x 10 ⁹	²⁰⁷ Pb
¹⁴ C	5730	¹⁴ N

Ha sido solo en 1953 que Patterson y Houtermans [31] han conseguido datar con precisión la edad de La Tierra, por el método isotópico Pb207-Pb206 (una variante del método U-Pb), con 4,51 Ga y 4,56 Ga.

En la actualidad se acepta que el inicio de la secuencia de eventos está marcada por la condensación de materia sólida, desde la Nebulosa solar hace 4,566 Ga, y ha terminado con la acreción de La Tierra, segregación del núcleo terrestre y formación de La Luna, que habrá ocurrido en un intermedio de tiempo equivalente a 50±10 Ma, y los últimos eventos habrán ocurrido hace 4,51 Ga.

Según Tera [32], la edad de 4,5 Ga, que es aceptada como el valor más apropiado para la edad de La Tierra, corresponderá más a la edad de la materia de la cual La Tierra se ha formado y no a la edad de la formación de La Tierra como planeta. A pesar de estas incertidumbres, parece no haber duda que la edad de La Tierra (o por lo menos el material a partir del cual ha sido formada) y del

sistema solar sobrepasan, en una muy pequeña fracción, los 4,5 Ga. Estos resultados no son muy diferentes a los obtenidos por Houtermans y Patterson. O sea, ahora sabemos, y basados en muchas otras más evidencias, que la edad de La Tierra, de La Luna e del sistema de meteoritos es de 4,51 hasta 4,55 Ga.

Sobre el punto de vista de los autores, la complejidad inherente a la naturaleza filosófica y científica del concepto de tiempo que ha quedado anteriormente expresa, se adjuntan, no solo las dificultades propias de la interpretación de los registros de los eventos geológicos, así como alguna incertidumbre sobre la localización de los marcadores de la historia de La Tierra. Estas consideraciones irán influir en la vertiente educacional.

5. EL TIEMPO Y LOS DESAFIOS EDUCACIONALES

Hacer un puente entre las experiencias de tiempo vividas por los alumnos, en las cuáles éstos conviven con intervalos de tiempo, oscilando entre el momento, el día, el año o el periodo de una generación o un siglo, hasta situaciones que se habrán pasado en el Planeta hace millares de millones de años para acá, se trata de una tarea tan desafiante como cognitivamente exigente, exigiendo una atención y una preparación esmeradas por parte de todos los intervinientes. La inmensidad del tiempo es fundamental para el pensamiento geológico ya que permite comprender la acción que poseen los imperceptibles lentos procesos con relación a cambios gigantescos. ¡Con tiempo las montañas se aplanan y la selección natural potencia nuevas especies! Robert Frode man [33] afirma que entender la brevedad de la existencia humana con relación a la vastedad de la historia de La Tierra requiere “*innovation in our sense of reality*”.

La referida innovación ha de ser sostenida ya que el concepto de tiempo es crucial en el desarrollo de las competencias, relacionadas con el pensamiento geológico siendo, por ejemplo, la llave de la causalidad. Los autores consideran importante, cuando se aborda la temática del tiempo desde el punto de vista educacional:

(a) reconocer de qué forma los alumnos a partir de sus propias experiencias de tiempo elaboran la escala donde se inscribe el pasado de La Tierra, con sus varios miles de millones de años. En ese ámbito resulta adecuado

tener en consideración que la percepción y la acción se entrelazan fuertemente en articulación con el conjunto de los principios estructurantes de la datación relativa. Es importante percibir si los alumnos consiguen determinar una sucesión temporal de acontecimientos sin que sepan efectivamente cuando sucedieron y cuanto duraron;

(b) discutir el papel de la narrativa de acontecimientos recurrentes, o el de las analogías elaboradas, contribuye para la construcción de una perspectiva cíclica del tiempo condicionando la interpretación del cotidiano. Verdaderamente y de acuerdo con el principio del actualismo, los fenómenos geológicos pasados transcurrieron mediante los mismos procesos que los actuales. De alguna manera esta discusión sirve para analizar si nos encontramos más o menos alejados de la concepción platónica al hacer depender el mundo físico del mundo de las ideas. Inferimos en esta línea la perspectiva que la medición del tiempo falla cuando se omite la dimensión humana en su percepción.

(c) observar de qué forma se compatibiliza la comprensión de procesos relativos a modificaciones espaciales profundas, registradas en un paisaje que aparentemente se presenta estático. Dicho de otra manera procuramos comprender cómo se articula en la lógica aristotélica arriba mencionada, la relación entre el tiempo y el espacio, así como su limitación y continuidad. Existen mayores dificultades en la percepción de los acontecimientos geológicos más distanciados en el tiempo:

(d) analizar cómo se percibe el tiempo, cuando no se encuentra explícitamente evidenciado en el registro de acontecimientos, conocidos por la humanidad. En otras palabras, considerar si tendría sentido pensar el tiempo abstracto con carácter absoluto o con intuición, conforme propusieron respectivamente, Galileo, Newton y Kant. Ésta es sin lugar a dudas la recurrente cuestión de la existencia del tiempo más allá de la existencia humana;

(e) Reflexionar relativamente a las ventajas e inconvenientes de abordajes más holísticos, relacionados con la temática del tiempo, en articulación con otros conceptos también complejos como por ejemplo, la energía, o asimismo la masa. En esta acepción como propuso Einstein, el tiempo se encuentra unido al

espacio y determina las características de la materia y del movimiento. Esta relación espacio-tiempo se revela de alguna forma por el hecho de que el registro sedimentario disminuya de una forma casi geométrica, a medida que caminamos hacia periodos más antiguos de la historia de La Tierra;

(f) Estudiar el resultado de la utilización de procesos que generando más entropía y sin que puedan ocurrir inversamente, contribuyan para reconocer con menor dificultad la irreversibilidad del tiempo. Veamos por ejemplo el caso de los isótopos inestables, tan importantes en geología. De cierta forma y en el ámbito de la ciencia actual, según el punto de vista de Prigogine, es lo mismo que decir que es importante valorar lo aleatorio y lo espontáneo, reconociendo que la irreversibilidad temporal genera la novedad y la diversidad.

(g) Asumir que la lógica de los saberes separados y fragmentados, así como el pensamiento sobre problemas particulares, solamente debe de ocurrir, dentro de contextos propios y en sintonía con la búsqueda de encuadramiento dentro del ámbito de cuestiones globales. Retomando la idea de *continuum*, anteriormente mencionada, llenando el presente y de alguna manera el futuro.

(h) Desarrollar e implementar actividades prácticas diversificadas (de investigaciones de laboratorio, experimentos, de campo, entre otras) que ayuden a los alumnos a comprender la complejidad de los fenómenos geológicos y la secuencia temporal de algunos acontecimientos.

Desde una perspectiva de los autores, estas reflexiones, demuestran que el abordaje curricular de conceptos complejos, como por ejemplo el del tiempo geológico, no se compagina con perspectivas reductoras de enseñanza inminentemente mecánicas. Se exige por otro lado, el desenvolvimiento de una visión más multidisciplinaria y pluridimensional, donde ciencia y filosofía den soporte a un pensamiento holístico más enriquecedor culturalmente.

REFERENCIAS

- [1] Pires, J. C., De profundis, Lisboa, Editorial Caminho, 32 P., 1997.

- [2] EURYDICE, The information network on education in Europe. Science teaching in schools in Europe. Policies and research. Brussels. Eurydice European Unit, 2006. Available: www.eurydice.org [citado 29 de Noviembre de 2009].
- [3] Morin, E., *Introdução ao pensamento complexo*. 5.^a ed., Lisboa, Instituto Piaget, 2008.
- [4] Santo Agostinho, *A cidade de Deus*, 3.^a ed, Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 2008.
- [5] Klein, E., *O Tempo de Galileu a Einstein*, Lisboa, Caleidoscópico Editora, 2007.
- [6] Hawking, S., *Breve historia del tiempo*, Barcelona, Ediciones Critica, 1988.
- [7] Coveney, P. and Highfield, R., *La flecha del tiempo*, Barcelona, Plaza y Janés, 1992.
- [8] Yousef, M. H., *Ibn ‘Arabî – Time and cosmology*, London, Routledge, 2008.
- [9] Sánchez, A., *Tiempo y sentido*, Madrid, UNED/Biblioteca Nueva, 1998.
- [10] Prigogine, I., O fim das certezas, En: *A complexidade, vertigens e promessas* (Orgs. R.Benkirane), *Histórias de ciência*, Lisboa, Instituto Piaget, 2004.
- [11] De origen latina (tempus) traduce la “sucesión de momentos, de horas, de días, de años, en que se desarrollan los acontecimientos”.
- [12] Angrillil, A., Cherubini, P., Pavese, A. and Manfredini, S., The influence of affective factors on time perception, *Perception & psychophysics*, 59(6), pp. 972-982, 1997.
- [13] Wittmann, M. and Paulus, M. P., Decision making, impulsivity and time perception, *Trends Cognitive Science*, 2007. Available: <http://koso.ucsd.edu/~martin/WittmannTimeReview2008.pdf> [citado 18 de Marzo de 2009]
- [14] Pilkington, F. B., The question of time, *Nursing science quarterly*, 22(1), 7 P., 2009.
- [15] Sandrine, G. and Droit-Volet, S., Time perception, depression and sadness, *Behavioural processes*, 80(2), pp. 169-176, 2009.
- [16] Dewey, J., The reflex arc concept in psychology, *Psychological review*, 3, pp 357-370, 1986.
- [17] Moreira, A. F. and Borges, O., Percepção e medida do tempo em uma abordagem fenomenológica. *Educação tecnológica*, 10(2), pp. 52-61, 2005. Available: <http://www2.cefetmg.br/dppg/revista/arqRev/revistan10v2-artigo8.pdf>. [citado 15 de Marzo de 2009],
- [18] Clancey, W. J., *Situated cognition: on human knowledge and computer representation*, New York, Cambridge University Press, 1997.
- [19] Rosa, N., O tempo: percepções e construções do tempo; origem e sentido do tempo; fluir do tempo e o futuro; observação do tempo, 2002. Available: http://www.eventos.uevora.pt/conhecimento_proibido/contributos/23_6_2003/Rui_Namorado_Rosa_O_TEMPO_9_de_Maio_de_2002_publica%E7%E3o__1_.htm [citado 15 de Marzo de 2009]
- [20] Elias, N., *Sobre el tiempo*, México, Fondo de Cultura Económica, 1989.
- [21] Mangas, J. and Montero, S., *El milenarismo: la percepción del tiempo en las culturas antiguas*, Madrid, Editorial Complutense, 2001.
- [22] Malerba, J., Ensaio sobre o tempo, *Estudos históricos*, 7(14), pp. 300-304, 1994.
- [23] Prigogine, I., *O nascimento do tempo*, Lisboa, Edições 70 P., 1990.
- [24] Por ejemplo, el tiempo de la siembra y el tiempo de la recolección.
- [25] Recordamos, aquí, algunas expresiones como “tiempo perdido”, “tiempo libre”, “tiempo útil”.
- [26] Carrière, J.-C., As perguntas da esfinge, En: *O fim dos tempos* (Orgs. C. David, F. Lenoir e J.-P. Tonnac), Lisboa, Terramar, 1999.
- [27] Silva, M. J., *Qual o tempo do cuidado?*, São Paulo, Edições Loyola, 2004.
- [28] Silva, J. P., (2009, 14 de Março). *Tempus fugit: valorizar o tempo*, 2009, 14 de Marzo. Blog available: <http://profjosepereiradasilva.blogspot.com/2009/03/tempus-fugit-valorizar-o-tempo.html> [citado 8 de Maio de 2009]
- [29] ICS - International Commission on Stratigraphy, *International stratigraphic chart*, 2009. Available: <http://www.stratigraphy.org/upload/ISChart2008.pdf> [citado 5 de Agosto de 2009]
- [30] Fairchild, T. R., Teixeira, W. and Babinski, M., Em busca do passado do planeta: tempo geológico. En: *Decifrando*

a Terra (Orgs. W. Teixeira *et. al.*), São Paulo, Oficina de Textos, 2000.

[31] Houtermans (Universidad de Göttingen) y Patterson (California Institute of Technology) han trabajado cada uno en su sitio sin conocimiento del desarrollo de la investigación del otro. Sin embargo tienen el mérito de haberen sido los dos a obtener valores tan semejantes a los actuales como también han sido ellos los primeros a tener la idea en asociar la formación de La Tierra con la de los meteoritos suponiendo una afinidad genética. Houtermans, F. G., Determination of the age of the Earth from the isotopic composition of

meteoric lead, *Nuovo cimento*, 10(12), pp. 1623-1633, 1953; Patterson, C. C., Age of meteorites and the Earth. *Geochimica and cosmochimica Acta*, 10, pp. 230-237, 1956.

[32] Tera, F., Aspects of isochronism. En: Pb isotope systematic – application to planetary evolution. *Geochimica and cosmochimica Acta*, 45, pp. 1439-1448, 1981.

[33] Frodeman, R., *Geo-logic. Breaking ground between philosophy and the earth sciences*, New York, New York State University of New York Press, 2003.